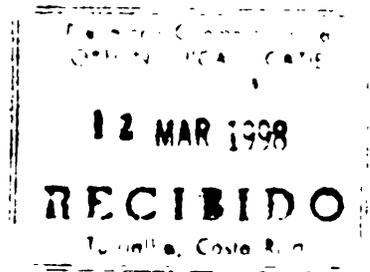


Calidades y limitantes de algunos suelos en San Miguel La Palotada -Petén, Guatemala-





**POTENCIALIDADES Y LIMITANTES DE ALGUNOS
SUELOS EN SAN MIGUEL LA PALOTADA
-PETEN, GUATEMALA-**

✓
Jean Collinet

**Proyecto Conservación para el
Desarrollo Sostenible en Centroamérica
(Olafo)**

CATIE

Turrialba, Costa Rica

1997

**POTENCIALIDADES Y LIMITANTES DE ALGUNOS
SUELOS EN SAN MIGUEL LA PALOTADA
- PETEN, GUATEMALA-**

Jean Collinet

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central
Turrialba, Costa Rica, 1997**

Publicación financiada por la Autoridad Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA), el Organismo Noruego de Cooperación para el Desarrollo (NORAD) y la Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional (DANIDA)

Presentación

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), a través del Área de Manejo y Conservación de Bosques y Biodiversidad se propuso a través del Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en Centroamérica (Olafo) elaborar un diagnóstico de las potencialidades y factores limitantes de algunos de los sistemas de suelos representativos de la zona de San Miguel La Palotada en el Departamento de Petén, Guatemala. Esta zona, se declaró en 1994 la primera Concesión Comunitaria, creando así las bases para un uso sostenible de los recursos naturales por parte de una comunidad que permita compatibilizar la conservación de los recursos naturales y el desarrollo de las poblaciones locales.

El Área Demostrativa de San Miguel La Palotada permite avanzar en el diseño de un modelo de desarrollo rural basado en el manejo de ecosistemas, en el cual las comunidades locales constituyen el motor de la conservación y control del uso adecuado de los recursos.

El presente estudio constituye uno de los insumos generados por el CATIE, a través del Proyecto Olafo, para conocer las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos de la zona de trabajo para contribuir al diseño de un ordenamiento territorial del área.

Es diagnóstico, las conclusiones y las recomendaciones que se presentan en este documento titulado "Potencialidades y limitantes de algunos suelos en San Miguel La Palotada -Petén, Guatemala- fueron elaborados por el Dr. Jean Collinet, Especialista en suelos, funcionario del "Institut Francais de recherche scientifique pour le développement en coopération" (ORSTOM) en su calidad de personal Asociado al CATIE - Programa de Manejo de Cuencas-, con el apoyo de campo del equipo técnico del CATIE/Olafo basado en Petén.

El libro que hoy está en sus manos demuestra, una vez más, que es necesario considerar la estrecha conexión entre los diferentes elementos del ecosistema. Mantener la

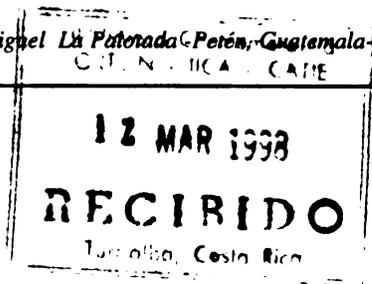
cobertura forestal natural sobre las colinas, proteger las diversas especies forestales originales y dar énfasis a la reforestación son sólo algunas de las recomendaciones que se derivan de este estudio.

Con este esfuerzo, el CATIE espera contribuir al desarrollo de un enfoque integral para el manejo de los ecosistemas tropicales de la región.



Rubén Guevara Moncada
Director General

CONTENIDO



1. INTRODUCCION	1
2. CARACTERISTICAS DEL MEDIO AMBIENTE	2
2.1. Clima	2
2.2. Formaciones vegetales naturales	2
2.3. Geología y geomorfología	2
2.4. Actividades humanas	3
3. DIFERENCIACION DE LOS SUELOS	4
3.1. Condiciones de la pedogénesis.	4
3.2. El sistema de suelos del Petén	5
3.2.1. Suelos bien drenados de las colinas	5
3.2.2. Suelos con drenaje lento en los valles.....	7
3.3. Sistema de transición	9
4. RESULTADOS E INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE SUELO	11
4.1 Los análisis.....	11
4.2 Interpretación de los resultados.....	12
5. CONJUNTO DE SUELOS BIEN DRENADOS EN LAS COLINAS	12
5.1. Suelos sobre calizas fuertemente agrietadas	12
5.1.2. Generalidades e Interpretación de los análisis físicos	13
5.1.3. Interpretación de los análisis químicos	15
5.2. Suelos sobre calizas duras	22
5.2.1. Interpretación de los análisis	23
6. CONJUNTO DE SUELOS CON DRENAJE LENTO DE LOS VALLES	23
6.1 Suelos con caracteres vérticos bien desarrollados	23
6.1.1 Interpretación de los análisis físicos.....	24
6.1.2 Interpretación de los análisis químicos	26
6.2 Suelos integrados entre rendzinas y vertisoles	32
7. CONCLUSION	
LA REGION CALCAREA DEL PETEN:	
UN SISTEMA MORFOPEDOLOGICO CON EQUILIBRIO PRECARIO	35
A) Dinámica del sistema	35
B) Fertilidad: potencialidades y factores limitante ..	36
C) Recomendaciones	37

1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Clases de agua útil para plantas	15
Cuadro 2	PTN (5 muestras). Materia orgánica	15
Cuadro 3	Series de YAXA Y JOLJA. Materia orgánica	16
Cuadro 4	PTN (5 muestras). Complejo absorbente	17
Cuadro 5	Series de YAXA y JOLJA . Complejo absorbente	17
Cuadro 6	PTN (5 muestras). Fertilidad	19
Cuadro 7	Series de YAXA y JOLJA. Fertilidad	19
Cuadro 8	Escala de fertilidad nitrogenada (N total para pH de 7.0 a 8.5)	20
Cuadro 9	Umbrales de carencia en Potasio (K ⁺ intercambiable me/100g)	21
Cuadro 10	Interacción Fósforo asimilable / Nitrógeno	22
Cuadro 11	PTN Agua útil (A.U) -(mm agua por cm suelo).....	25
Cuadro 12	Ejemplos de volúmenes de agua útil más frecuentes en Vertisoles	26
Cuadro 13	PTN (5 muestras). Materia orgánica	26
Cuadro 14	Series de MACANCHE y UAXACTUN. Materia orgánica	27
Cuadro 15	PTN (5 muestras salvo C). Complejo absorbente	28
Cuadro 16	Series MACANCHO y UAXACTUN. Complejo absorbente.....	28
Cuadro 17	PTN (5 muestras). Fertilidad	30
Cuadro 18	Series MACANCHO y UAXACTUN. Fertilidad	30
Cuadro 19	Resumen de las potencialidades y factores limitantes de Rendzinas y Vertisoles	36

1. INTRODUCCION

La región del Petén, situada en el norte de Guatemala, es una de las áreas de trabajo del "Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en Centroamérica", conocido popularmente como Olafo. En esta zona, en particular en la comunidad de San Miguel La Palotada se trabaja en la definición e implementación de formas de manejo y de conservación de los recursos naturales que sean compatibles con el desarrollo de las comunidades locales.

Entre los elementos del medio natural a ser tomados en cuenta para diseñar el modelo de desarrollo rural propuesto por Olafo conviene considerar la naturaleza de los suelos, así como sus formas de organización en sistemas, ya sea en paisajes naturales o en paisajes en vías de explotación. Esta identificación de los sistemas de suelos debe permitir:

- Resaltar las potencialidades actuales por medio del conocimiento de sus características físicas, químicas y mineralógicas.
- En función de dichas potencialidades, prever sus evoluciones cuando están -o cuando estarían- sometidos a diferentes niveles de factores limitantes ligados a los modos de explotación.

En este documento nos propusimos destacar los principales resultados que surgieron del trabajo de campo y de laboratorio en esta área, para elaborar un diagnóstico de las potencialidades y factores limitantes de algunos de los sistemas de suelos representativos de la zona del "Biotopo"

Para la elaboración del diagnóstico se hizo un reconocimiento rápido de los medios naturales característicos de la zona de estudio a lo largo de la carretera que va de San Andrés en dirección a Carmelita, o sea a lo largo de aproximadamente 25 kilómetros. (ver mapa de localización en figura # 1).

El recorrido permitió distinguir cuatro regiones naturales diferentes dentro de las cuales se estudiaron seis toposecuencias.¹

¹Una toposecuencia es el lugar de estudio de calicatas localizadas de acuerdo con la línea de mayor pendiente de una unidad de paisaje, orientación que permite observar el máximo de diferenciación en los constituyentes y forma de organización de los suelos, ya que estos dependen, entre otros aspectos, de la circulación de los flujos hídricos internos

Además, se hicieron diez calicatas y algunos sondeos con barrena los cuales permitieron, primero, caracterizar los perfiles de los suelos y segundo, recoger unas 25 muestras de suelos

También se describieron las áreas cercanas a las calicatas con el fin de poder detectar eventuales relaciones fitosociológicas de las coberturas vegetales y de los suelos.

2. CARACTERISTICAS DEL MEDIO AMBIENTE

La zona estudiada está incluida en la hoja IGN a 1/50,000 de San Miguel, entre los 17° 10' y 17° 20' Norte y los 89° 50' y 90° 00' Oeste (ver mapa # 1)

2.1 Clima

Las informaciones climáticas de buena calidad son escasas. Sin embargo, la temperatura media anual es de aproximadamente 26°C y la precipitación no sobrepasa los 1300 mm por año. Durante los meses de enero a marzo, el ritmo de lluvia disminuye claramente (media inferior a 45 mm durante estos 3 meses). Las precipitaciones máximas se registran en junio (aproximadamente 220 mm). No disponemos de informaciones sobre las relaciones intensidad/duración de estas precipitaciones.

2.2. Formaciones vegetales naturales

Según el diagrama triangular de L.R. HOLDRIDGE, esta región debería estar cubierta por un bosque tropical seco, lo que no corresponde de ninguna manera con las formaciones vegetales observadas. Estas últimas presentan en cambio características florísticas y estructurales de bosques siempre verdes, densos y húmedos.

2.3. Geología y geomorfología

Esta región pertenece al amplio "Plateau sedimentario Terciario del Yucatán" (México), desarrollado sobre formaciones calcáreas de origen marino en la base, que se va transformando en formaciones epicontinentales hacia la cima con intercalación de yeso. Localmente, se trata de calcáreos blancos o blancos/rosados relativamente puros y de los cuales se encuentran afloraciones a lo largo de la carretera. Las manifestaciones cársticas (dolinas, pérdidas de ríos etc.) son bastante frecuentes, sobretudo hacia el norte de la hoja cartográfica. Sin embargo, pareciera que se trata de un sistema cárstico ya relativamente colmado por los materiales de alteración de la roca.

El conjunto de la zona estudiada se asemeja a un relieve de costa con "reverso" y "frente de cuesta", correspondiente a una serie de bancos calcáreos con una leve pendiente hacia el norte. Uno de los frentes de cuesta podría corresponder a una vertiente de la orilla derecha del Valle de San Miguel. Bajo este clima cálido y húmedo, el reverso de cuesta es intensamente cortado en pequeñas colinas. Estas culminan a los 300 msnm al sur, con cimas redondeadas y vertientes convexas, unidas a los valles de fondos planos por una pequeña concavidad.

Al norte, en el kilómetro 15, el paisaje se vuelve de plano a ondulado. De este llano emergen solamente algunos cerros (en forma de media naranja) con unos 15 a 20m de desnivel. En la figura 2, se esquematiza este conjunto geomorfológico. En este mismo gráfico, están localizadas las diferentes secuencias estudiadas.

2.4. Actividades humanas

La población de la región de San Miguel La Palotada (densidad: 1.8 hab/km) practica el cultivo itinerante de quema y roza. Los suelos ocupados por el bosque primario o secundario, o por charrales, son talados para ser cultivados en forma manual por dos o tres años seguidos (maíz, frijol, varios vegetales, plátanos y otros frutales). Estas parcelas se abandonan por un período que varía entre 12 y 15 años.

Esta práctica confiere una fisonomía particular al paisaje: la vegetación está muy degradada cerca de los ejes de penetración. Al igual que en muchos de los bosques tropicales húmedos, la reconstitución de la vegetación original a partir del barbecho se hace por "olas" sucesivas de formaciones vegetales en el tiempo. En el Petén, dentro del bosque secundario, existen poblaciones casi puras, representativas de estas fases de reconstitución de la cobertura vegetal. Un buen ejemplo de este proceso lo constituye la *Cecropioida sp.*

Las demás formas de actividades basadas en la utilización del bosque consisten fundamentalmente en la recolecta de ramas de pequeñas palmeras y la explotación del "Chicle" (*Manilkara achras*). En el primer caso, se extrae y exporta la *Chamaedorea sp.* (Xate), que es utilizada como complemento ornamental en Estados Unidos y en Japón. El chicle es utilizado porque provee un látex comestible, necesario para la fabricación comercial del chicle, actividad que fue muy importante hace unos años.

Actualmente resulta difícil evaluar la importancia de ciertas actividades de extracción como es el caso de fibras para la elaboración de muebles, plantas medicinales y otras especies comestibles. Por otra parte, existen algunas fincas extensivas de ganadería en el norte de la zona estudiada (a 20km aproximadamente).

La explotación forestal (madera para transformación) es todavía reducida en la región. En cambio, los cortes de madera para leña son importantes. Los árboles que se utilizan para leña tienen diámetros cada vez más grandes; esto debido a un uso generalizado de la motosierra y a que los campesinos alquilan, a menudo, camiones para transportar esta madera. Es importante notar que esta explotación de la madera se hace en forma indiscriminada (madera relativamente preciosa, por ejemplo). En el campamento Yarche, ubicado hacia el kilómetro 11, existen unos centenares de hectáreas reforestadas con "Caoba" y "Cedro".

A pesar de que no era el objetivo del estudio, conviene señalar que esta región está todavía muy retrasada en varios aspectos: escasas vías de comunicación y no siempre transitables, sobretodo durante la época lluviosa; energía eléctrica deficiente o inexistente; falta de agua potable y un importante poblamiento de la frontera agrícola. De ahí que la situación de salud de la población sea muy precaria, siendo los jóvenes los más afectados. Existe una alta mortalidad infantil por bronquitis y parasitosis intestinal.

3. DIFERENCIACION DE LOS SUELOS

3.1. Condiciones de la pedogénesis

Varios son los factores que influyen, en forma conjugada, sobre la formación de los suelos: el clima cálido y húmedo, las rocas de origen esencialmente calcáreo y la vegetación original, que a pesar de haber sido transformada por la actividad humana, es un bosque tropical húmedo siempre verde.

Las condiciones climáticas (humedad, calor que favorece la hidratación y la hidrólisis) y la descomposición de la materia vegetal fresca (síntesis de compuestos húmicos ácidos, al menos en sus primeras etapas) conducen a una disolución rápida de los calcáreos.

Lógicamente, si estos calcáreos fueran perfectamente puros (CaCO_3), no quedaría nada de esta roca (solubilización y disolución bajo forma de bicarbonato de calcio). Sin embargo, todo calcáreo contiene, en mayor o menor cantidad, silicio, aluminio, óxidos metálicos y otras bases alcalinas y alcalinotérreas, ya sea bajo formas elementales (silicio bajo forma de arenas cuárcicas, por ejemplo) o bajo formas combinadas (arcillas de diferentes tipos según las proporciones de silicio y de aluminio).

La alteración de los calcáreos del Petén, al igual que muchos otros calcáreos en zona tropical, se traduce en una solubilización rápida de los carbonatos y en una acumulación relativa de productos residuales de esta disolución. Se trata ya sea de arcillas

que pueden ser heredadas como tales en el suelo, o de minerales primarios no carbonatados, los cuales siguiendo su proceso de meteorización, proveen silicio, aluminio, óxidos metálicos y bases que pueden combinarse en nuevos minerales arcillosos de diferentes tipos, según las condiciones de drenaje que prevalezcan en el paisaje.

3.2. El sistema de suelos del Petén

Las condiciones de la pedogénesis resumidas anteriormente permiten comprender la diferenciación de los suelos de la zona estudiada.

Como primera aproximación, se pueden distinguir dos ambientes extremos que determinan la existencia de dos tipos de suelos totalmente opuestos: los suelos bien drenados de las colinas y los suelos con drenaje deficiente en los bajos.

3.2.1. Suelos bien drenados de las colinas

En las zonas mejor drenadas, correspondientes a las cimas y vertientes de colinas, las características esenciales de los suelos son las siguientes:

- **Horizontes sueltos**

Espesor: De 20 a 40 cm máximo

Color: Pardo oscuro, sin manchas (10YR2/2 a 3/2, código Munsell)

Textura: 35 a 45% de arcilla

La estructura es fragmentaria muy desarrollada, grumosa fina y poliédrica fina a media con una fuerte porosidad ligada a los espacios entre agregados. Otras características son: una fuerte presencia de raíces que penetran los agregados, mediana actividad de fauna del suelo y una pedregosidad variable, de mediana a fuerte (gravas y piedras calcáreas)

- **Alteritas**

Fragmentos calcáreos poco alterados, blancos, beige (50 a 80% de piedras y bloques), no friables, de bordes suaves, con raíces medianas y gruesas en el material más suelto, que es oscuro (aproximadamente 10YR 4/3), sin manchoneo hidromórfico.

- **Clasificación propuesta**

USDA: Typic RENDOLLS

FAO: RENDZINAS

Francesa: RENDOSOLS (ex- RENDZINES) típicos o humíferos (si hubiera más de 5% de materia orgánica en horizontes ACa o AC).

- **Comentarios**

Se trata de suelos poco profundos. En el caso de suelos calcáreos, el espesor del suelo depende de tres elementos:

- a) Velocidad rápida de alteración de la roca bajo el efecto del clima. Esta roca se caracteriza esencialmente por una disolución de los carbonatos.
- b) Intensidad de ablación superficial leve debajo de la cobertura de bosque natural.
- c) Herencia o neoformación de arcillas que dependen de la tasa de "impurezas" del material calcáreo. Así, se puede suponer que el escaso espesor de estos suelos no se debe tanto a la erosión sino más bien a la relativa pureza de la roca de origen, que provee poco material residual arcilloso o arcilloso en formación. De ahí lo delgado de los horizontes sueltos.

El tipo mineralógico de las arcillas (probablemente illita + esmectita) es la causa de una fuerte estructuración de los horizontes sueltos, donde no se detectan problemas de drenaje interno. En efecto, la porosidad sigue siendo importante incluso en la época lluviosa debido a que la proporción de arcillas expandibles (esmectitas) es insuficiente para que la porosidad inter-agregados disminuya durante la época lluviosa (lo que no será el caso en los bajos de los valles).

Estos suelos contienen a menudo calcáreo activo (CaCO_3 en la misma fase suelta) desde los horizontes superficiales. Sin embargo, se pueden distinguir dos fases: una sin descarbonatación (CO_3^{--}) desde la superficie y otra con descarbonatación en los decímetros superiores

Esta diferencia es relativamente importante porque puede significar dos cosas:

- a) Cuando la parte superior del perfil pierde carbonato, está indicando un efecto de acidificación a través de los compuestos húmicos sintetizados bajo el bosque. Esto implica un cierto grado de equilibrio del medio forestal (permanencia, o por lo menos, antigüedad del bosque)
- b) Cuando no hay descarbonatación del perfil es porque está permanentemente "rejuvenecido". La causa puede ser una erosión superficial o una fuerte actividad de la fauna que remueve el perfil del suelo y lleva a la superficie elementos de los horizontes más profundos.

Las primeras observaciones de terreno no permiten comprobar esta acción preponderante de la fauna (pocos rasgos de actividad). Por lo tanto, el "rejuvenecimiento" estaría más bien ligado a una acción abrasiva superficial, lo que se traduciría en un desequilibrio más o menos reciente de la cobertura vegetal. Este desequilibrio podría ser reconstruido a través de un estudio estructural de la vegetación para determinar, entre otros factores, las apariciones o desapariciones de estratos del bosque original (dinámica de reconstrucción del bosque con base en tiempo t0 o sea, a partir del barbecho y por medio de encuestas).

La presencia de calcáreo activo implica una saturación del complejo absorbente del suelo con Ca⁺⁺, de ahí los serios problemas de desequilibrio en el uso de los demás elementos minerales; cationes, aniones y fijación irreversible de fósforo.

Finalmente, las reservas hídricas útiles de estos suelos de unos 30 cm de espesor son forzosamente débiles si los bancos de calcáreos subyacentes son compactos. Sin embargo, si están fragmentados, el sistema de raíces puede completar en profundidad sus necesidades hídricas.

3.2.2. Suelos con drenaje lento de los valles

Se encuentran principalmente en los bajos de los valles y más precisamente en zonas temporalmente endorreícas. A continuación se presentan algunas características esenciales de este extremo de diferenciación.

- **Horizontes sueltos**

Espesor: No se detectan alteritos a 170 cm con barreno

Color: Negro a gris oscuro en por lo menos 35 cm (10YR a 5Y 2 a 5/0) y gris verde-aceituna a más profundidad (2.5 a 5Y 5/3), sin manchas o casi sin manchas hidromórficas (color herrumbre o beige claro) incluso en profundidad. Sin embargo, presencia en profundidad de manchas más oscuras correspondientes a intrusiones humíferas. Entre 30 y 40 cm, presencia de nódulos o de aglomerados blancos de carbonato de calcio.

Textura: De arcillosa a arcillosa-limosa (muchas veces más de 50% de arcilla) en todo el perfil. Generalmente sin empobrecimiento en coloides en superficie.

La estructura se caracteriza por un agrietamiento en superficie que delimita células poligonales de 40 a 70cm de diámetro y grietas anchas en febrero (estación seca). Los tipos

de desarrollo estructural más frecuente son:

- i) Poliédrica subangular mediana en los primeros 10 cm con espacios interagregados marcados;
- ii) Poliédrica fuerte entre 10 y 30 cm con espacios poco importantes entre agregados;
- iii) Grietas masivas en forma vertical o masivas fragmentadas en láminas oblicuas y presencia de "slicken side" más evidentes a los 80 cm. Por todo esto, los cambios en la macroporosidad están esencialmente ligados a los espacios entre agregados superficiales a principios de la estación de lluvia.

Existe además, una presencia importante de raíces que penetran los agregados entre 20 y 30 cm, más escasa y limitada en las raíces medianas y gruesa a mayor profundidad

La actividad de la fauna del suelo es poco perceptible; generalmente son pocos los animales y microorganismos adaptados a este medio muy arcilloso, compacto y seco durante gran parte del año. La pedregosidad es poca o nula.

- **Alteritas**
No se alcanzaron en ninguna calicata (170 cm)
- **Clasificación propuesta:**
 - USDA: CHROMUDERTS
 - FAO: Pellic VERTISOLS
 - Francesa: TOPOVERTISOLS típicos o "calcariques".
- **Comentarios:**

Las características particulares de estos suelos (color, estructura, agrietamiento, a veces micro-relieves superficiales) están ligadas aparentemente a la presencia de montmorillonita (arcilla expandible de la familia de las esmectitas). Esta arcilla se forma en medio de elementos minerales lavados desde las cimas vecinas y que se concentran de manera absoluta en los bajos mal drenados. Entre estos elementos conviene señalar la existencia de cantidades suficientemente importantes de silicio y aluminio que se combinan en presencia de óxidos de hierro y cationes (esencialmente Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺).

La génesis de esta arcilla particular está determinada por las condiciones de aporte y de confinamiento de estos elementos. Si las proporciones no son respetadas, ya sea porque el clima es demasiado seco para que estos elementos puedan ser liberados por

meteorización; o bien, porque es demasiado húmedo y entonces estos elementos son lixiviados en profundidad o hacia los ríos, no existe neoformación de montmorillonita (ni suelos vérticos).

El color oscuro de estos suelos no implica necesariamente una concentración alta de materia orgánica. Por el contrario, el color está relacionado con el hecho de que la materia orgánica está muy dividida, con la alta polimerización y con la formación de complejos muy estables entre las arcillas y los óxidos de hierro.

Estos suelos están inundados durante la época de lluvia. En este período, los cationes pueden migrar en profundidad. Es posible, entonces que haya desaturación de algunos de ellos en superficie. Igual sucede en el caso de los carbonatos que pueden solubilizarse en superficie y reprecipitarse en profundidad (lo que se ha constatado).

La predominancia de esmectitas en estos suelos impone características hídricas e hidrodinámicas generalmente poco favorables para la vegetación natural y, por ende, para los cultivos, salvo que puedan mantenerse en condiciones de alta humedad. En efecto, la cantidad de agua útil (diferencia entre el punto de marchitez y la capacidad en campo) es muy baja, muchas veces, menos de 70 mm en un metro de suelo. Esto sucede incluso en suelos muy húmedos, porque el agua es fuertemente retenida por las arcillas (hasta 250 mm de agua en 1 m de suelo en el punto de marchitez). Son, muchas veces, suelos fisiológicamente secos si no se les aplica riego.

También son suelos que están sometidos a una dinámica estructural estacional específica. En período seco, su macroporosidad es importante en los horizontes superficiales porque la desecación produce una contracción de las láminas de arcilla y las tensiones internas del suelo determinan entonces espacios importantes entre los agregados. Estos suelos son permeables únicamente al inicio de la estación de lluvias. Durante la época lluviosa, las láminas de arcilla absorben agua, se expanden y la macroporosidad se reduce cuando se vuelven casi impermeables.

3.3. Sistema de transición

Los dos tipos de suelos caracterizados en los párrafos anteriores corresponden a dos situaciones topográficas extremas:

- a) Buen drenaje externo en las cimas o vertientes de las colinas.
- b) Mal drenaje externo en los valles.

Nos hemos esforzado en identificar la transición de a) a b), sin embargo, este proceso se presenta en un tramo muy corto, que corresponde a la pequeña concavidad que une - por una escasa distancia- la vertiente convexa con el fondo del valle relativamente plano.

En toda la colina aparecen suelos del primer tipo (ejemplos de los perfiles PTN 3,5,6,8 y 9). Las variaciones en el interior de este tipo "RENDZINA" se limitan a:

- Los procesos ya mencionados de la descarbonatación.
- El mayor o menor espesor del horizonte suelto y esto, en los límites de los 40 cm indicados anteriormente.
- Un leve empobrecimiento superficial en coloides pero sin acumulación de arcilla en profundidad (se trata entonces de un transporte lateral y no de un lavado vertical).
- Los calcáreos subyacentes pueden ser no fragmentados y formar una capa dura y continua. Los horizontes sueltos son entonces menos profundos y la presencia de raíces se limita al horizonte superficial (ejemplo del perfil PTN 6)

En la concavidad abajo de la vertiente (ejemplo del perfil PTN 12), el material suelto sin pedregosidad es más profundo y llega a 70 y 90 cm. Podemos entonces subdividirlo en, al menos, dos horizontes. El primero, gris oscuro, se ubica hasta aproximadamente 30 cm. El segundo, pardo-amarillo y a veces manchado, está en profundidad por la aparición de problemas de drenaje interno. La descarbonatación parece ser a menudo la regla en el primer horizonte húmfero de 30 cm. La estructura se vuelve poco clara y luego masiva más allá de los 30 cm; las alteritas de calcáreos aparecen hacia los 120 y 160 cm.

Este tipo de suelo de transición pertenecería a:

- USDA: Typic RENDOLLS (si están carbonatados) o a los Eutropeptic RENDOLLS (si están descarbonatados).
- FAO: Calcic o Eutric CAMBISOLS
- Francesa: CALCOSOLS (ex pardos calcáreos) o CALCISOLS (ex pardos cálcicos), típicos o redóxicos, dependiendo de la presencia o ausencia de manchoneo hidromórfico.

Los suelos mal drenados de los bajos (ejemplo de TOPOVERTISOLES de los perfiles PTN 1,2,4,7) presentan la aparición de caracteres vérticos descritos anteriormente; estructuración más ancha en superficie, "slicken sides" en profundidad, sin o casi sin manchoneo hidromórfico, a veces carbonatación del perfil hacia los 40 cm y color generalmente gris-oscuro en todo el perfil. Sin embargo, no todos los bajos presentan

condiciones endorréicas que favorezcan la génesis de arcillas expandibles. Entre estos suelos con caracteres vérticos definidos se intercalan suelos simplemente HYDROMORFICOS, con horizontes más o menos profundos, totalmente reducidos (gris-blanco, gris verdáceo etc.) o muy manchados y sin caracteres vérticos.

En estos paisajes, la asociación de suelos respeta siempre la distribución unívoca resumida anteriormente. Esta está ligada a las modalidades de meteorización, las cuales dependen a su vez de una hidrodinámica considerada esta vez a nivel de paisaje. Es lo que permite hablar de sistema de suelos. La figura 3 esquematiza este sistema característico de la zona de estudio en la región del Petén.

4. RESULTADOS E INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE SUELO

4.1 Los análisis

Para completar el reconocimiento de la zona de estudio se analizaron 24 muestras que provienen de 12 perfiles de suelos descritos a lo largo de una secuencia Norte-Sur, de unos 20 kilómetros lineales en el Biotopo de la Reserva de la Biosfera Maya en la región de San Miguel La Palotada.

Las pruebas se hicieron en el laboratorio de análisis de suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) bajo la responsabilidad de Roberto Díaz y se comentarán, por conjuntos de suelos, de la siguiente manera:

- Los análisis físicos:
 - * Granulometría y textura.
 - * Características estructurales y retención de humedad.
- Los análisis químicos:
 - * Materia orgánica.
 - * Características del complejo absorbente.
 - * Cationes, aniones incluyendo la fertilidad (fósforo, potasio, nitrógeno) e interacciones con las otras características de los suelos.

Estos comentarios se harán considerando las características más generales de los suelos de la zona intertropical y/o en relación con otros resultados de análisis de suelos de la misma región (Carlos S. Simmons, Jose Manuel Tárano T., Jose Humberto Pinto Z. 1959)

4.2 Interpretación de los resultados

El tipo de sistema-suelo que fue definido al inicio, a partir de los estudios morfológicos de los suelos, es generalmente confirmado por los análisis. Es entonces posible distinguir dentro de este sistema suelos bien drenados en las colinas y suelos con drenaje lento en los valles. Hay también ciertas variaciones morfológicas, físicas y químicas que dependen de varios factores, a saber:

- Las condiciones locales de roca-madre o de condiciones más particulares del drenaje.
- Los caracteres integrados al límite entre los dos ortotipos de suelos.

5. CONJUNTO DE SUELOS BIEN DRENADOS EN LAS COLINAS

A causa de la dureza de las calizas se han distinguido dos situaciones básicas: suelos sobre calizas fuertemente agrietadas y suelos sobre calizas duras.

5.1. Suelos sobre calizas fuertemente agrietadas

Localización

La ubicación es aleatoria si los suelos dependen únicamente de la heterogeneidad petrográfica y estructural de la roca madre; o en el caso de las calizas homogéneas, se los encuentra con más frecuencia encima de las colinas o sobre terreno moderadamente inclinado .

Morfología

- Ortotipos: PTN 3, PTN 8, PTN 9.
- Comparación posible con las series de suelos "JOLJA" y "YAXA" de C.S. Simmons y AR.

En resumen, son suelos de 40 a 80 cm de espesor, pardo oscuro sin manchas hidromórficas, franco-arcillosos y después arcillosos, con una pedregosidad media, una estructura bien desarrollada dentro de todo el perfil, muchas raíces finas que penetran los agregados y otras medias y/o gruesas dentro de las fisuras de la roca madre subyacente.

Clasificación

USDA: Rendolls

FAO: Rendzinas

Francesa: Rendosols humíferos

5.1.2. Generalidades e Interpretación de los análisis físicos

a) Textura

Son suelos franco-arcillosos con 35 a 45% de arcilla + materia orgánica y no más que 20 a 30 % de arena fina. Esta textura se distribuye de manera muy homogénea dentro de todo el perfil, es decir, no se observa tendencia perceptible de lavado de las arcillas ni otras formas de acumulación dentro el perfil, lo que es visible en los diagramas del anexo.

b) Estructura

Una fuerte conexión entre la materia orgánica bien polimerizada (proporción importante de ácidos húmicos grises) y la fase mineral (arcilla) forma un complejo orgánico-mineral estable. Esto se interpreta como una estructura de bien a muy bien desarrollada, fragmentaria, angular o granular, generalmente fina en el horizonte pedológico superficial (A11 o A1), y un poco más gruesa abajo. En ambos casos se observa una porosidad importante, ligada esencialmente a los vacíos interagregados, que quedan más o menos abiertos durante la estación húmeda, lo cual constituye la gran diferencia en relación con los suelos mal drenados de los valles.

c) Retención de humedad

En lo que concierne a la retención de humedad, los resultados del análisis parecen sospechosos. Esto no es a causa de algún problema de laboratorio sino, probablemente, por la naturaleza particular de las muestras. En efecto, los datos de humedades, cerca del punto de marchitez (HPM) muy cerca de la capacidad del campo (HCC) son demasiado fuertes. Por ejemplo, Rendolls o Udolls con características texturales similares no deberían tener más que 12 a 15% de HPM y 22 a 24% de HCC.

Hay, generalmente, varias posibilidades para explicar estas sobre estimaciones del humedad matricial:

- Fuerte contenido en esmectitas dentro la fase arcillosa; si tal fuera el caso, se debería observar una estructura todavía más desarrollada con más características vérticas, lo que no se encuentra aquí
- Fuerte contenido en alófanos que podrían aumentar el agua de absorción dentro las fases arcillosas, limosas y pseudo-arenosas, debido a que sus superficies específicas son muy importantes. Este no es el caso aquí porque estos suelos no se forman encima de rocas volcánicas.
- Fuerte contenido en materia orgánica hidrófila, es decir poco humificada. Las cantidades de materia orgánica son bastante importantes, sin embargo no son suficientes para explicar los datos actuales. Además, la materia orgánica es demasiado polimerizada como para dar ese comportamiento hidrófilo.
- Contenido en yeso² lo que podría ser el caso entre algunas capas de calizas, pero lo que las escalas de los mapas geológicos no permiten verificar.

Por las razones presentadas anteriormente, no fue posible determinar los diferentes volúmenes de los "depósitos-suelos" tal como: macro-porosidad (agua de saturación del perfil o agua de drenaje rápido), microporosidad (conteniendo el agua más cercana del punto de marchitez (HPM) y éste cercano a la capacidad del campo (HCC)). Sin embargo es posible evaluar el volumen del depósito llenado por el agua útil (HAU) para plantas, pero esto de manera relativa si se consideran las notas precedentes.

$$\text{HAU \% ponderado} = \text{HCC \% ponderado} - \text{HPM \% ponderado}$$

$$\text{si } D_a \text{ (g/cm}^3\text{, horno } 105^\circ\text{C)} = \text{densidad aparente dentro el espesor considerado del perfil de suelo}$$

Y

$$e \text{ (cm)} = \text{el espesor considerado del perfil.}$$

$$\text{Volumen Agua Util (mm)} = \frac{\text{HAU \% pond.} \times D_a \times e}{10}$$

²El yeso natural cristalizado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), contenido dentro de algunos suelos - y tal vez en los del Petén- se deshidrata casi completamente en sulfato anhídrido (CaSO_4) durante la medida de la humedad en el horno a 105°C (con atmósfera seca). Entonces, de acuerdo con los contenidos de yeso en el suelo, hay que hacer una corrección para compensar las pérdidas de agua de constitución del mineral y obtener las humedades reales de estos suelos. Varios estudios (M. POUGET 1965 (3), J. VIELLEFON 1979 (4)) demostraron relaciones entre esta diferencia de humedad medida y el contenido en yeso (p.e. hay una sobrestimación de las humedades actuales de los suelos de 10% con 50% de yeso en las muestras). Generalmente hay que evitar una desecación demasiado rápida de la muestra para evitar la transformación irreversible del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en anhídrido (CaSO_4). Una desecación más fraccionada (70°C , en atmósfera húmeda) permite sacar de la muestra únicamente el agua de absorción y no ésta de la constitución del mineral.

Estos "suelos sobre calizas agrietadas" tienen más de 2,0 mm/cm de agua útil lo que se puede considerar como un nivel muy importante. Las cantidades de agua que resultan de este proceso son significativas cuando su espesor supera los 40 cm de materiales sueltos, pero como fue dicho en la primera parte, hay probablemente un aumento sensible de este "depósito agua útil" sobre estas calizas agrietadas (cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de agua útil (A.U) para plantas (En milímetros de agua por centímetro de suelo)					
A.U.mm/cm	< 0,2	0,2-0,5	0,6-0,7	0,8-1,0	> 1.0
Clases	muy débil	débil	mediano	importante	muy importante

Ejemplo del perfil PTN 3: 103 mm A.U. en 40cm = 2.50mm/cm,
Ejemplo del perfil PTN 9: 164 mm A.U. en 60cm = 2,35mm/cm.

5.1.3. Interpretación de los análisis químicos

Los siguientes cuadros presentan los datos que provienen del Petén (muestras PTN) así como que algunos otros informes (muestras YAXA, JOLJA) que permiten realizar todas las comparaciones deseables.

a) Materia orgánica

Cuadro 2. PTN (5 muestras) Materia orgánica		
Horizontes	A1 o A11 0 /10cm	A12 o A/C # 40cm
M.O %	10.57*(29.20%)**	6.60 (28.00%)
N.tot %	0.60 (30.39%)	0.38 (25.91%)
C/N	10,1	10.3

* media aritmética,

** coeficiente de variación %

Cuadro 3. Series de YAXA Y JOLJA y materia orgánica				
Perfiles	YAXA	JOLJA	YAXA	JOLJA
Horizontes	0/10 cm		# 40 cm	
M.O. %	15.31	16.42	2.92	1.72
N tot. %	0.74	0.74	0.15	0.16
C/N	12.0	11.8	11.3	12.0

El contenido de materia orgánica es importante con una incorporación clásica según dos horizontes: más orgánica (A1 o A11) y menos orgánica (A12 o A/C), lo que se interpreta como una diferencia inherente a la estructura.

Las razones C/N, cercanas a 10, permiten suponer que la tasa de humificación de los materiales orgánicos poco transformados es importante, y sobre todo, si esta humificación llega a una síntesis de compuestos húmicos fuertemente polimerizados. Estas características favorecen el desarrollo de una estructura muy estable, y por lo tanto, de buenas condiciones de drenaje. Sin embargo, puede ocurrir cierta hidrofobia superficial al principio de la estación lluviosa, la que se refleja en escorrentías precoces pero no duraderas. Esto ocurre a causa de la dificultad para la extracción del aire fuera del suelo seco durante las primeras infiltraciones.

Si se considera únicamente la escala de fertilidad según el binomio "N total y pH", estos suelos pertenecen a la clase "excepcional" de fertilidad (0.12 a 1.00 % N total para pH de 7 y más). Sin embargo esta fertilidad no depende únicamente de los contenidos en nitrógeno ya que existen otras interacciones u otros factores limitantes, como se verá más adelante.

b) Complejo adsorbente

Cuadro 4: PTN (5 muestras) - Complejo adsorbente		
Horizontes	A1 o A11 0/10cm	A12 o A/C # 40cm
pH (agua:1/2.5)	8.32 (0.9 %)	8.42 (0.9 %) ≥
C.I.C* me/100g	33.86 (25.31 %)	33.86 (25.31 %)
K+ me/100g	0.29 (34.39 %)	0.17 (71.54 %)
Ca++me/100g	44.32 (9.13 %)	40.55 (4.12 %)
Mg++me/100g	2.20 (25.90 %)	1.56 (53.43 %)
Na+ me/100g	0.11 (11.59 %)	0.13 (16.32 %)
S** me/100g	46.93 (9.93 %)	42.41 (5.16 %)
V*** %	saturado	saturado
Ca/Mg	21.10 (18.42 %)	32.19 (37.78 %)

* Capacidad de intercambio,

** Suma de los cationes intercambiables

*** Porcentaje de saturación

Cuadro 5: Series de YAXA y JOLJA (2)- Complejo adsorbente				
Perfiles	YAXA	JOLJA	YAXA	JOLJA
Horizontes	0/10 cm		# 40 cm	
pH	7.7	7.8	8.2	8.0
C.I.C. me/100g	29.06	42.72	9.68 26.84	
K+ me/100g	1.58	0.41	0.05	0.48
Ca++ me/100g	70.48	40.20	14.63	26.30
Mg++ me/100g	0.80	0.60	3.44 0.00	
Na+ me/100g	1.13	0.31	0.45 0.09	
S me/100g	73.99	41.52	18.57	26.67
V %	saturado	97.19	saturado	99.37
Ca/Mg	88.10	67.00	4.25	¥

Estos suelos son saturados con cationes intercambiables. La reacción (pH) es de ligeramente alcalina (escala: 7.4 a 7.8) a bastante alcalina (escala: 7.9 a 8.4). Esta alcalinidad está ligada esencialmente a la presencia de carbonato activo de calcio que fue sistemáticamente detectado en el campo desde la superficie hasta la profundidad del suelo. Cabe destacar dos aspectos más, por una parte, no hay bastante sodio intercambiable para detectar riesgos de halomorfia (umbral crítico $\text{Na/C.I.C} > 0.10$)- si tal fuese el caso, habría que observar reacciones todavía más alcalinas (pH alrededor de 9.0)- y por otra parte, las buenas condiciones de drenaje y las características bastante húmedas del medio ambiente no permiten, actualmente, el desarrollo de esta halomorfia.

Las capacidades de intercambio son altas (escala: 25 a 40 me/100g) en las superficies donde los contenidos más importantes de materia orgánica aumentan sensiblemente las posibilidades de fijación de bases. Más abajo ellas disminuyen un poco a causa de la reducción de las tasas de materia orgánica.

Se observa una fuerte variación en el contenido de cationes K^+ , Mg^{++} y Na^{++} entre los perfiles, lo que se puede interpretar como variaciones de las composiciones petrográficas o estructurales de las rocas calcáreas que permiten cambios locales de su alteración.

Hay un desequilibrio muy importante entre las fijaciones de Ca^{++} y Mg^+ (razón Ca/Mg satisfactorio # 2 a 10); este exceso de Ca^{++} dentro del suelo (intercambiable y sobre la forma de carbonato activo) tendrá consecuencias sobre la fertilidad, tema que será más detallado en el apartado siguiente.

c) Fertilidad

Se analizan ahora los contenidos e interacciones de ciertos cationes o aniones que intervienen, en un alto nivel, en las características de fertilidad del suelo.

Cuadro 6 PTN (5 muestras) Fertilidad		
Horizontes	A1 o A11 0/10cm	A12 o A/C #40cm
pH (llamada)	8.32	8.42
N.total % (llamada)	0.60	0.38
P. Olsen ppm	11.02	4.82
Ca+Mg/K	180.60	336.17
K/CIC	8.39 10 ⁻³	6.67 10 ⁻³
P2O5*asimil./N tot.≥	3.91 10 ⁻	3.54 10 ⁻³

*Anhidrido fosfórico P2O5 ppm = elemento fósforo Pppm x 2.29

Cuadro 7. Series de YAXA y JOLJA (2) - Fertilidad				
Perfiles	YAXA	JOLJA	YAXA	JOLJA
Horizontes	0/10 cm		# 40 cm	
pH (llamada)	7.7	7.8	8.2	8.0
N.total % (llamada)	0.74	0.74	0.15	0.16
P. Olsen ppm	7.10	4.70	6.70	1.50
Ca+Mg/K	45.11	99.51	361.40	93.92
K/CIC	0.05	9.60 10 ⁻³	5.16 10 ⁻³	0.01
P2O5 asimil./N tot.	7.13 10 ⁻⁴	1.71 10 ⁻³	1.92 10 ⁻²	4.28 10 ⁻³

Ambitos de pH para cultivos tropicales

Las reacciones de poco a bastante alcalinas en estos suelos constituyen un primer factor de limitación de los rendimientos en numerosos cultivos en esta zona tropical húmeda.

Se considera generalmente que las reacciones o pH de 6.0 a 6.5 se acercan al óptimo. Más abajo se observa una disminución de los cationes intercambiables, se aprecian también problemas de disminución de la actividad microbológica con repercusiones sobre la intensidad de la mineralización del nitrógeno orgánico. En reacciones más altas empiezan los problemas de inactivación de ciertos cationes o aniones por razones de competición (exceso de calcio p.e.) o por razones de retrogradación o bloqueo de un

elemento sobre una u otra composición menos absorbente (fósforo p.e. que se cambia de la forma mono- o bicálcica a la forma tricálcica).

Nitrógeno total (amoniacoal y nítrico)

Si se observan únicamente las relaciones "N total y pH" para los cultivos más corrientes en la zona intertropical y para reacciones de neutras a bastante alcalinas, la escala de fertilidad más utilizada se presenta de la siguiente manera en el cuadro 8.

Cuadro 8. Escala de fertilidad nitrogenada (N total) (para pH de 7.0 a 8.5)						
N total %	0.01:	0.02:	0.03:	0.04	0.12:	1.0
Fertilidad	baja	media	buena	muy buena		excepcional

Entonces si se colocan los contenidos en nitrógeno de los cuadros 6 y 7 dentro esta escala, se observa que la nutrición nitrogenada no debería plantear problemas particulares.

Fósforo asimilable

Los diferentes complejos que se forman con el fósforo y sus proporciones relativas dependen del pH, del contenido en materia orgánica y también de la naturaleza de los suelos.

Para suelos con reacción de débil a sensiblemente alcalina los tipos de complejos son, sobre todo, fósforo ligado con el calcio y, en menor medida, fósforo ligado con aluminio. Al inicio estas dos formas provienen del fósforo orgánico no directamente asimilable, pero que se transforma continuamente en P-Ca (y P-Al) por mineralización.

El método de análisis (Olsen) que utiliza productos alcalinos para hacer solubles los complejos fosforados del suelo no es el más apto en la situación presente de suelos con carbonato de calcio activo, porque este reactivo extrae esencialmente los complejos P-Fe y P-Al. Se puede considerar que los métodos que utilizan ácidos orgánicos (Morgan-Barbier), sustancias con acción complejante (Joret-Ebert) o ácidos minerales diluidos (Schloessing, Truog) habrían sido más aptos.

Si se considera, a pesar de las notas precedentes, que todo el fósforo extraído por el método Olsen es realmente asimilable por los vegetales, se observa que todos los suelos (muestras PTN y muestras de comparación YAXA y JOLJA) tienen una sensible carencia en fósforo. En efecto, el umbral crítico para el fósforo Olsen aparece más o menos abajo 25 a 40 ppm P., según las texturas y según los tipos de suelos.

Este resultado, que puede sorprender dentro de suelos con tanta materia orgánica, se explica por una forma de retrogradación del fósforo en fosfato tricálcico $(PO_4)_2Ca_3$ insoluble, si se considera la reacción alcalina actual del suelo.

Potasio intercambiable, interacciones Ca+Mg/K y K/CIC

Si se considera únicamente el contenido en potasio intercambiable (K me/100g), estos suelos franco-arcillosos tienen una fertilidad potásica correcta (cf. cuadro 9)

Cuadro 9. Umbrales de carencia en Potasio (K ⁺ intercambiable me/100g)				
Textura (A + L)	10%	30%	55%	85%
Umbrales(me/100g)	0.05	0.10	0.28	0.32

Sin embargo, se deben tener en cuenta los equilibrios del potasio con el calcio y el magnesio porque existen antagonismos entre estos cationes intercambiables a causa de las diferencias de energías de fijación dentro del complejo adsorbente del suelo. Para apreciar esta idea se utilizan dos razones:

$$* Ca + Mg / K$$

El resultado no debe superar 40 en suelo arcilloso y 50 en suelo arenoso (para principales cultivos intertropicales).

$$* K/CIC$$

El resultado no debe rebajarse debajo de 0.015 (p.e. café, plátanos, caña).

Se observa, en los cuadro 6 y 7, que hay un antagonismo importante con Ca + Mg desde las superficies de los suelos, excepto para el testigo YAXA. Si se consideran también los contenidos absolutos del potasio pero sus relaciones con la capacidad de intercambio

(razón K/CIC), se observa también una carencia débil en la superficie y sensible en la profundidad de las muestras PTN.

Interacción: Fósforo asimilable y Nitrógeno

Las razones $P_{2O5} \text{ asimil.} / N \text{ total}$ de los cuadros 6 y 7 verifican una importante carencia en fósforo, aunque tampoco es absoluta. Como fue analizado antes (parte: "Fósforo asimilable") la carencia es relativa con relación al nitrógeno. En efecto, esta razón permite detectar desequilibrios entre ambos elementos como se presenta en el cuadro 10:

Cuadro 10. Interacción Fósforo asimilable / Nitrógeno			
<u>$P_{2O5} \text{ asimil.} / N$</u>			
N o/oo	> 0.10	0.10 a 0.05	<0.05
	Carencia en N	Equilibrio	Carencia en P

5.2. Suelos sobre calizas duras

Localización

Estos suelos se encuentran con mayor frecuencia en zonas que corresponden a los "frentes de cuesta" más abruptos (cf. figura 2) donde hay erosiones permanentes. Esto se refleja en condiciones de humedad menos duraderas que a la vez limitan las condiciones de alteración. Se les puede encontrar también, pero de manera aleatoria, cuando se intercalan capas de rocas más endurecidas dentro de series generalmente más friables.

Morfología

- Ortotipo: PTN 6

Son suelos de 15 a 25 cm de espesor con materiales sueltos delimitados de manera abrupta por la roca madre. Estos son generalmente bien estructurados, de característica granular fina a muy fina en sus horizontes orgánicos superficiales y después deviene menos

desarrollada. Las raíces sólo pueden desarrollarse dentro del material suelto, es decir dentro de un espesor muy débil.

Clasificación

USDA: Rendolls

FAO: Rendzinas

Francesa: Rendzines humíferas

5.2.1. Interpretación de los análisis

No hay diferencias significativas entre las características analíticas de estos suelos y las analizadas en el grupo anterior. La única, pero importante, diferencia se refiere a su hidrodinámica, que es menos interesante a causa de sus menores espesores y de la impermeabilidad de la roca madre; por ésto, el depósito en agua útil se reduce mucho y también el desarrollo de las raíces.

6. CONJUNTO DE SUELOS CON DRENAJE LENTO EN LOS VALLES

Se han distinguido suelos con caracteres vérticos bien desarrollados y suelos intergradados hacia los rendzinas de las dos colinas, estos últimos son generalmente cálcicos y más o menos hidromórficos, pero sin caracteres vérticos bien desarrollados.

6.1. Suelos con caracteres vérticos bien desarrollados

Localización

Todos se localizan en las topografías planas de los valles más largos. Hay que disponer de una superficie mínima -u óptima- para que el proceso de neoformación de arcillas esmécticas, descrito en la primera parte, pudiera desarrollarse.

Morfología

- Ortotipos: PTN 1, PTN 2, PTN 7, PTN 10, PTN 11,
- Comparación posible con las series de suelos "MACANCHE", perfil espeso y "UAXACTUN", perfil poco espeso.

En resumen, son suelos con fisuras verticales que delimitan células poligonales en sus superficies; espesos, con más de 170cm de materiales sueltos; de color negro a gris oscuro en la superficie y gris verde-aceituna sin manchas o casi sin manchas hidromórficas en la profundidad; con textura arcillosa homogénea; con una estructura de dominante angular bien desarrollada en los primeros 20 o 25 centímetros, después es esencialmente masiva con fisuras y facetas oblicuas de deslizamiento (slicken-side) y con una distribución heterogénea de las raíces a causa de sus dinámicas estructurales estacionales.

Clasificación

- . USDA: Pelluderts,
- . FAO: Pellic vertisols,
- . Francesa: Topovertisols.

6.1.1. Interpretación de los análisis físicos

a)Textura

Son suelos muy arcillosos con un 65 y hasta 70% de arcillas en los horizontes masivos, con un poco menos de arcilla hacia la superficie y por lo tanto, dentro de los horizontes bien a muy bien estructurados (50 a 55%). Esto no obedece a cualquier acumulación absoluta de arcillas a partir de 30 o 35 cm, sino a las contaminaciones por aluviones limosos y arenosos que penetran dentro las fisuras superficiales antes que éstas se cierren durante la estación lluviosa. Esta es la razón por la que la disminución de arcilla corresponde más o menos estrictamente con los horizontes bien estructurados.

b) Estructura

Estos suelos presentan características estructurales muy fáciles de reconocer:

- En los primeros 20 o 25 centímetros se encuentran estructuras bien desarrolladas, este espesor corresponde al límite de licuación total de los materiales, consecuencia de las sumersiones episódicas o, sencillamente, de sobresaturaciones estacionales por las aguas.
- Después se observan horizontes masivos y fisurados donde la fase de humectación es parcial pero suficiente para provocar movimientos relativos de hinchazón y de

retracción ligados con la naturaleza esméctica de sus arcillas, tal y como fue indicado en la primera parte. Aparecen así áreas de fricción entre materiales con humedades diferentes, lo que provoca la formación de facetas oblicuas y estriadas (slicken side) y/ o de fisuras verticales que se proyectan hasta la superficie del suelo.

Son suelos caracterizados por alternancias de humedades y donde se realiza una dinámica estructural estacional con todas las consecuencias que el funcionamiento de este sistema puede suponer, en particular para el desarrollo de las raíces, para las actividades biológicas y, sobre todo, para las modificaciones de los volúmenes porosos, de la hidrodinámica.

c) Retención de humedad

No se hicieron experimentos de campo para evaluar todas las características hidrodinámicas de estos suelos, pues eso habría requerido más tiempo y más medios especialmente en lo que concierne a las determinaciones de sus condiciones porosas. Sin embargo se pueden evaluar las volúmenes de agua útil como fue indicado anteriormente.

Estos suelos vérticos tienen importantes (¡bastante asombrosos!) volúmenes de agua útil (cuadro 110000000000), esto, esencialmente por datos muy altos de las humedades equivalentes a la capacidad de campo (cf. en anexo HCC.ponderal % a 0.33 bares de tensión).

Cuadro 11. PTN Agua útil (A.U) -(mm agua por cm suelo)			
Perfiles	PTN 1	PTN 4	PTN 7
Horizontes			
A1 #10cm	2.36 a 2.83	1.81	1.75
A1 #35cm	2.68	1.97	2.64
A/C #80cm	2.91	2.18	-

Por ejemplo, los datos del cuadro 12 presentan algunos volúmenes de agua útil observados en vertisoles de características físicas vecinas en otros países.

Cuadro 12. Ejemplos de volúmenes de agua útil más frecuentes en Vertisoles (mm agua / cm suelo)			
Lugar de los perfiles	Estados Unidos* Jefferson, Texas	Guatemala** Región Zacapa	Uruguay*** Región Palomas
Horizontes			
A1 #10cm	1.50	1.77	1.62
A1 #35cm	1.70	2.07	----
A/C #80cm	1.80	----	2.29

* USDA, Soil Taxonomy, Pelludert, Pedon no125,

** F.Maraux(1990), perfil no 2, Documento de trabajo

***J.P.Rossignol(1983) ORSTOM, Cuadernos de Pedología XX,4,83

Se observan también desviaciones de las tasas de humedad hacia muy fuertes humedades:

- # 73% de retención a la capacidad de campo (Hcc).
- # 60% de retención al punto de marchitez (Hpm).

Esto significa que las necesidades hídricas de los vegetales no se satisfacen más que para fuertes humedades de los suelos; este régimen hídrico es bastante frecuente en vertisoles.

6.1.2 Interpretación de los análisis químicos

Como en el apartado anterior, se presentan aquí otros datos para un análisis comparativo entre los resultados extraídos del informe (MACANCHE y UACXACTUN) y las muestras del Petén (PTN).

a) Materia orgánica

Cuadro 13. PTN (5 muestras) Materia orgánica			
Horizontes	A11 0/10cm	AC 25/30cm	C 75/80cm
M.O %	17.23*(25.00%)**	4.46 (20.80%)	-
N.tot. %	0.93 (23.80%)	0.27 (19.70%)	-
C/N	10.71 (21.03%)	10.17 (14.66%)	

* Media aritmética

** Coeficiente de variación %

Cuadro 14. Series de MACANCHE y UAXACTUN (2) Materia orgánica						
≥Perfiles	MAC.	UAX.	MAC.	UAX.	MAC.	UAX
Horizontes	0/10 cm		# 30 cm		# 75 cm	
M.O. %	10.32	9.98	2.06	1.55	0.51	-
C/N	11.29	12.32	13.28	11.24	5.91	-

Como se aprecia, el contenido de materia orgánica es importante, un poco más en las muestras PTN de este estudio que dentro de las muestras de comparación (MACANCHE y UAXACTUN). Esto se debe a una presencia importante de la biomasa debajo de las selvas húmedas con muchos sobre-estratos. La incorporación de esta materia orgánica es heterogénea, con tasas importantes dentro de los 10 o 15 primeros centímetros y más abajo se observa una disminución rápida. Estos caracteres son frecuentes en suelos que se forman en condiciones de saturación hídrica temporal, períodos durante los cuales la actividad biológica disminuye o, por lo menos, produce productos humíferos transitorios diferentes.

Si se toma en cuenta el pH de # 7.9, las tasas de nitrógeno son muy buenas en los horizontes A1 y medias en los horizontes AC.

Las razones C/N- cercanas a 10.5 para las muestras PTN- son sensiblemente más débiles que éstas, encontradas con mayor frecuencia en vertisoles de valles (C/N # 12,5). Esto significa una buena mineralización y una buena humificación de los compuestos orgánicos frescos, y por lo tanto, de condiciones particulares que permiten este resultado. Hay dos causas que pueden mejorar las condiciones de la humificación:

- Presencia de sub-estratos vegetales bien desarrollados y débilmente lignosos cerca de la superficie del suelo.
- Fases estacionales de saturación hídricas menos largas que en otros lugares, lo que se puede confirmar con la presencia de fisuras de desecación profundas en los perfiles durante la época del trabajo.

Por lo anterior, es posible reforzar una actividad biológica más duradera y por lo tanto una mejor transformación de los compuestos orgánicos.

b) Complejo adsorbente

Cuadro 15. PTN (5 muestras salvo C) Complejo adsorbente			
Horizontes	A11 0/10 cm	AC 25/30 cm	C 75/80 cm
pH (agua)	7.86 (2.60%)	7.90 (2.90%)	8.32 (0.90%)
CIC* me/100g	78.86 (3.90%)	74.85 (9.70%)	52.7 (1 mues.)
K+ me/100g	0.82 (72.00%)	0.21 (44.2%)	0.04 id.
Ca++ me/100g	63.56 (1.40%)	63.48 (3.91%)	60.70 id.
Mg++ me/100g	4.34 (27.80%)	2.43 (37.50%)	0.50 id.
Na+ me/100g	0.19 (26.40%)	0.21 (36.00%)	0.46 id.
S** me/100g	68.92 (3.12%)	66.32 (4.34%)	61.70 id.
V*** %	86.34 (2.58%)	91.18 (10.18%)	saturado id.
Ca/Mg	15.59 (22.64%)	32.43 (53.85 %)	121.4 id.

* Capacidad de intercambio ** Suma de los cationes intercambiables
 *** Porcentage de saturación

Cuadro 16. Series MACANCHO y UAXACTUN (2) Comple. absorb.						
Perfiles	MACAN.	UAXAC	MACAN.	UAXAC	MACAN.	UAXAC
Horizontes	0/10cm		# 30cm		# 75cm	
pH (agua)	7.4	7.3	7.5	6.9	7.9	roca
CIC.me/100g	54.32	60.76	73.91	36.16	47.99	id
K+ me/100g	0.08	1.50	0.31	0.35	0.07	id.
Ca++me/100g	55.99	76.07	63.37	75.27	48.30	id.
Mg++me/100g	13.45	11.30	10.60	11.02	7.10	id.
Na+ me/100g	0.68	1.88	0.92	1.88	1.33	id.
S me/100g	70.20	90.75	75.20	88.52	56.80	id.
V %	saturado		saturado		saturado	id.
Ca/Mg	4.16	6.64	5.98	6.83	6.80	id.

La reacción (pH) es ligeramente alcalina en la superficie y deviene bastante alcalina en la profundidad. Esta diferencia es la consecuencia del carbonato activo de calcio hasta un nivel de 40 o 50 cm, lo que fue verificado en el campo con ácido diluido.

En todos los perfiles se presentan ciertas acumulaciones de calizas secundarias, en forma de concreciones, a partir de 40 o 50 cm. Se notan así dos dinámicas diferentes del carbonato según las dos situaciones siguientes:

a) En suelos bien drenados de las colinas (rendzinas y suelos vecinos) no hay acumulaciones secundarias de carbonato, los bicarbonatos (CO_3H)—2 solubles se lixivian lateralmente y la efervescencia, a menudo observada con ácido, está únicamente relacionada con finos trozos de la roca madre (caliza activa).

b) En los suelos mal drenados del valle (vertisoles y suelos vecinos), hay una lixiviación vertical de carbonato por cambio en bicarbonato soluble. Se observa después una precipitación de carbonato insoluble (CO_3^{--3}) y donde hay una tensión relativa de CO_2 —que permite la solubilización— va disminuyendo. En estos suelos vérticos parece improbable atribuir esta acumulación por precipitaciones a la existencia de acuíferos temporales, pues las conductividades laterales de estos sistemas de suelos quedan muy bajas.

Las capacidades de intercambio son muy altas (# 75 me/100g) lo que es la consecuencia de la combinación de dos causas:

- Una fuerte tasa en materia orgánica (CIC específica de ella # 250 a 350 me/100g).
- La naturaleza esmectítica de los coloides arcillosos (CIC específica de las esmectitas # 100 a 150, contra 10 a 40 para arcillas menos silicosas como ilitas, haloisitas o caolinitas).

Además, hay un desequilibrio de la razón Ca/Mg medio en superficie (# 16), muy importante en la profundidad (>100), lo que es consecuencia de una cierta descarbonatación superficial y de una acumulación de carbonatos de calcio en profundidad.

c) Fertilidad

Como se hizo anteriormente, a continuación se analizarán los contenidos absolutos de ciertos iones adsorbibles y sus interacciones, para sacar de este análisis las principales características de fertilidad de estos suelos.

Cuadro 17. PTN (5 muestras) Fertilidad			
Horizontes	A11 0/10cm	AC 25/30cm	C 75/80cm
pH (llamada)	7.86	7.90	8.32
N.total % id	0.93	0.27	-
P.Olsen ppm	7.64	3.40	1.32
Ca+Mg/K	124.19	>>100.00	>>100.00
K/CIC	0.010	2.58 10 ⁻³	7.58 10 ⁻⁴
P2O5/N tot.*	2.00 10 ⁻³	3.00 10 ⁻³	-

* Anhídrido fosfórico P2O5ppm = elemento fósforo Pppm x 2.29

Cuadro 18. Series MACANCHO y UAXACTUN (2) Fertilidad					
Perfiles	MACAN. UAXAC		MACAN. UAXAC		MACAN. UAXAC
	0/10cm		# 30cm		# 75cm
pH (llamada)	7.40	7.30	7.50	6.90	7.90 roca
N.total % id	0.53	0.47	0.09	0.08	0.05
P.Olsen ppm	15.60	14.00	3.40	3.60	11.30
Ca+Mg/K	--	58.24	>100	>100	>100
K/CIC	2.8 10 ⁻³	0.02	4 10 ⁻³ 10 ⁻³	9	1.4 10 ⁻³
P2O5/N tot.*	6 10 ⁻³ 10 ⁻³	7	8 10 ⁻³ 0.01		0.05

Ambitos de pH para cultivos tropicales

Como sucedió anteriormente, la reacción es demasiado alcalina para la mayoría de los cultivos tropicales, eso introduce problemas de competición entre iones absorbibles y problemas de retrogradación de ciertos de ellos.

Nitrógeno total (amoniacoal y nítrico)

En valores absolutos, los contenidos en nitrógeno son de muy buenos a excepcionales (cf. el cuadro 8 para la escala de fertilidad nitrogenada). Sin embargo, como se anotó anteriormente, este único criterio es insuficiente para tener una apreciación de fertilidad.

Fósforo asimilable

Si se considera que todo el fósforo asimilable es representado por el fósforo extraído con el método Olsen (lo que fue comentado antes), se observa en todas las muestras (cuadros 17 y 18) una deficiencia clara de esta forma asimilable, cuyo contenido queda siempre abajo del umbral 25 ppm. Entonces, se presenta también para los suelos de los valles, una insolubilización parcial del fósforo en complejos fosfatosos tricálcicos.

Potasio intercambiable, interacciones Ca+Mg/K y K/CIC

Si se considera únicamente el contenido absoluto del potasio intercambiable (K+me/100g en los cuadros 15 y 16), no hay carencia en la superficie de las muestras PTN. No obstante, si se toman en cuenta sus texturas (cf. el cuadro 9), se aprecia una carencia ligera a partir de # 30cm. En cambio, esta carencia es importante en todas las muestras de comparación (MACANCHO y UAXACTUN del cuadro 18).

El desequilibrio del potasio con otros cationes y particularmente Ca y Mg es importante. Los razones Ca+Mg/K superan cada vez más -o mucho más que 100- (siendo el umbral cerca de 40 o 50 según la textura para los principales cultivos tropicales). Este desequilibrio es confirmado por la razón K/CIC que cae debajo del umbral 0.015, a menudo retenido por definir las necesidades potásicas de estos mismos cultivos. Sin embargo la muestra superficial de comparación UAXACTUN no tiene- o casi no tiene- este desequilibrio, lo que se debe a su gran contenido en potasio (1.50 me/100g, en el cuadro 16).

Interacción: Fósforo asimilable - Nitrógeno

Las razones P₂O₅ asimilable/N total, de los cuadros 17 y 18, confirman las importantes carencias en fósforo ya puestas de manifiesto antes (cf. también el cuadro X para observar los umbrales generalmente retenidos).

6.2 Suelos intergradados entre rendzinas y vertisoles

Localización

Los suelos intergradados entre rendzinas y vertisoles ocupan áreas muy estrechas abajo de las vertientes, específicamente en la intersección de la vertiente y del fondo plano del valle; ahí, el perfil topográfico deviene cóncavo a lo largo de unos diez o veinte metros. Estos suelos pueden ocupar también los fondos de los más pequeños valles, más arriba de las cuencas.

Morfología e interpretación de los resultados de análisis

- Ortotipo: PTN 12

En resumen, son suelos sueltos, profundos, sin o casi sin fragmentos de calizas hasta 100 o 150 cm. Se observan generalmente dos conjuntos de horizontes que se diferencian a causa de sus contenidos en materia orgánica y de sus estructuras:

(a) 0/20 o 30 cm: uno o dos horizontes muy húmferos con 15 a 20% de materia orgánica; negro a gris muy oscuro, sin manchas; arcillosos (60 a 65% de arcilla + materia orgánica); estructura bien desarrollada en los 5 o 10 primeros centímetros (granular fina) y medianamente estructurado después. Este primer conjunto de horizontes es descarbonatado.

(b) 30 cm hasta el fondo del perfil (150cm): horizonte pardo-amarillo con numerosas manchas de materia orgánica gris oscuras, pero sin manchas de hidromorfía; estructura masiva; raras fases de deslizamiento a partir de 80 cm y un contenido importante en carbonato activo.

Se observa entonces:

- Una desaparición de los elementos gruesos.

- Un principio de acumulación de materia orgánica bastante bien humificada lo que puede ligarse con condiciones de hidromorfia más duraderas que sobre los vertiente.
- Como para los vertisoles vecinos, los ácidos húmicos provocan una solubilización de los carbonatos, estos se lixivian hasta horizontes más profundos donde se notan nuevas precipitaciones, no concretamente, pero sí de manera difusa.

Se notan también unas texturas muy arcillosas. Esta arcilla proviene en parte de las erosiones de la vertiente y, en parte, de la arcilogénesis local dentro de un medio que no es lo bastante silicoso como para acumular esmectitas; por lo que los caracteres vérticos no se desarrollan ahí enteramente.

Sus características químicas se acercan más a las de los vertisoles que a las de los rendzinas.

- **Clasificación**
 - USDA: Eutrochreptic Rendolls,
 - FAO: Calcic Cambisols,
 - Francesa: Calcisols humíferos y vérticos

CONCLUSION

LA REGION CALCAREA DEL PETEN: UN SISTEMA MORFOPEDOLOGICO CON EQUILIBRIO PRECARIO

A) Dinámica del sistema

El funcionamiento del sistema de suelos estudiado en Petén se caracteriza porque las partes altas constituyen zonas de salida de muchos elementos solubles, pseudo-solubles y, en menor grado, de sólidos; estas áreas se caracterizan también por unos procesos de transformación de la roca madre más físicos que químicos.

Las transformaciones físicas se presentan de dos formas. Por un lado, se produce una fragmentación de la roca por las raíces de la selva y, de manera más general, por todos los factores de la actividad biológica. Por otra parte, se presenta una erosión laminar, muy débil, debajo de una cobertura vegetal natural densa y moderada a nivel de sistemas de cultivos muy gastados que no extirpan todas estas raíces.

La transformación química se limita únicamente, o casi únicamente, a la disolución de las calizas. Esta disolución es acelerada por la presencia de la selva que provee ácidos orgánicos (tensión de CO₂) por su materia orgánica y humedades suficientes como para mantener una movilización y un flujo de materiales solubles hasta el valle.

A nivel de los suelos, el resultado de la disolución es una acumulación relativa de las "impurezas" contenidas dentro las calizas o rocas vecinas, sobre todo, arcillas, limos y arenas finas de orígenes más geológicos que pedológicos. Las partes bajas son fundamentalmente zonas de neogénesis de arcilla, y no lo que se podría considerar como verdaderas zonas de acumulación de arcilla. Esto se refleja en tres condiciones particulares: las arcillas de las colinas y de los valles son de naturaleza mineralógica diferente; el perfil actual de las vertientes no permite poner en evidencia una acumulación baja por erosión y, finalmente, el área reúne todas las condiciones de una neogénesis esmectitas en sitios bajos, en especial, la del "confinamiento del baño sílice - aluminio - cationes básicas".

A nivel de paisaje, la sucesión de estos procesos en el tiempo conduce a la formación de colinas bien drenadas, con cimas y vertientes convexas. Estas colinas "emergen" de llanuras planas, más o menos húmedas, donde pueden cavarse dolinas del sistema cárstico. Sin embargo, este sistema parece bastante entarquinado, por lo menos en el lugar del estudio, por el proceso de arcilogénesis de los valles.

Aunque es difícil evaluar la velocidad de esta disolución, es posible afirmar que la perennidad de la selva en las zonas altas contribuye con la formación de sus suelos a través de los dos procesos señalados.

B) Fertilidad: potencialidades y factores limitantes

Los dos sistemas de suelos (rendzinas y vertisoles) poseen buenas reservas en cationes absorbibles, buenos contenidos absolutos en nitrógeno, en potasio y cuentan con reservas hídricas de agua útil interesantes. Sin embargo, ambos sistemas presentan fuertes desequilibrios de sus cationes, con niveles de calcio demasiado importantes, lo que introduce problemas derivados de carencia en fósforo y potasio absorbibles.

Como balance, la característica de fertilidad física y química de los vertisoles y suelos intergradados vecinos es más interesantes que en el caso de los rendzinas y suelos vecinos de las colinas, como queda resumido en el cuadro 19.

Cuadro 19. Resumen de las potencialidades y factores limitantes de rendzinas y vertisoles		
Rúbricas	Rendzinas	Vertisoles
Riesgos de erosión (si cultivos)	0	+
Posibilidad mejoramiento.sistem.agricult.	0	++
Trabajo del suelo=f(pedregosidad)	0	++
Trab.del suelo húmedo=f(textura)	++	0
Porosidad = f(estructura)	++	+
Agua útil	++	++
Nitrógeno total (tasa absoluta)	++	++
pH	0	+
Capacidad de intercambio (CIC)	++	++
Potasio (tasa absoluta)	+	++
Fósforo asimilable (Olsen)	0	0
Equilibrio Ca/Mg	0	+
Equilibrio K/CIC	0	+
Equilibrio P2O5 asim./N tot.	0	+

0: malo, o hay riesgos +: aceptable ++: bueno

C) Recomendaciones

Teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema morfopedológico, la identificación de los principales caracteres de las fertilidades físicas y químicas y, finalmente, la correlación de ambas informaciones es posible proponer algunas opiniones sobre las mejores opciones de utilización sostenible de este ecosistema.

Lo que hay que considerar fundamentalmente es la estrecha conexión de cada componente del ecosistema; pues no sería posible perturbar un elemento sin provocar perturbaciones más o menos irreversibles del sistema completo.

Por lo tanto, hay que mantener imperativamente las colinas con sus coberturas forestales naturales (selva densa húmeda, sempervirente). Esto no es solamente para combatir problemas de erosión - lo que el buen sentido común habría permitido descubrir sin este estudio- sino, sobre todo, para mantener una biomasa orgánica y consecuentemente, una fuente de ácidos orgánicos y un micro clima húmedo que permita dos objetivos concretos:

- a) Corregir los efectos negativos de sobre cargas en cationes calco-alcálicas tan a nivel de los suelos como de paisaje.
- b) Perpetuar de manera derivada el proceso de vertisolización en los valles planos.

En efecto, la única posibilidad de remobilizar iones o cationes no absorbibles consiste en favorecer una decarbonatación o, si es posible, una ligera acidificación de los horizontes superficiales. Este proceso fue ya detectado en algunas áreas de colinas con coberturas forestales densas y también, en casi todos los vertisoles de los vallecitos con la misma cobertura.

En los valles se pueden mejorar los cultivos manuales de vertisoles utilizando la condición correcta de humedad. Convendría entonces construir camellones, o camas delimitadas por canales o zanjas con doble papel de drenaje y de riego según las situaciones topográficas. El sistema de cultivo puede mecanizarse sin problemas topográficos particulares pero, desgraciadamente, con importantes problemas de potencia de máquina. En efecto, en vertisoles las labranzas deben hacerse para obtener gruesos terrones que se puedan, después, fragmentar en pequeños terrones con el efecto de la desecación. En el estado actual de desarrollo de esta área, el cultivo manual, como fue dicho antes, parece la única causa que puede enfocarse.

Finalmente, a nivel de los paisajes, debe analizarse el ecosistema del Biotopo bajo la óptica de dos componentes: los valles y la colinas.

En colinas:

1. Es necesario el mantenimiento y protección de especies forestales originales . Para eso, hay que prever un estudio florístico y estructural de su dinámica de reconstitución estrato por estrato.

El objetivo debe ser, en primer lugar, evaluar las posibilidades reales de explotación de las maderas preciosas de lento crecimiento sin destrucción o, al menos, casi sin desequilibrio de los componentes del ecosistema, ya que actualmente su explotación es anárquica. En segundo lugar, se procura mejorar los conocimientos de la dinámica de los sobre-estratos de rápido crecimiento y ya explotados (*Chamaedorea* alias "Xate", "Rota" y otros bejucos), con el objetivo de sustituir el actual sistema de cosecha intensiva por un verdadero sistema de arboricultura.

2. Se debe dar énfasis a la reforestación (ya hecha en algunas áreas dispersas y en las zonas desnudadas) - por lo menos en barbechos- con especies de crecimiento rápido para la producción de madera blanca y/o de leña.

En los valles:

1. Mantener en las áreas más húmedas bosques naturales o mejorados para drenarlas o, por lo menos, mantener un balance hídrico correcto.

2. Favorecer poco a poco, en vertisoles o suelos vecinos, el desarrollo de un "mosaico" de cultivos alimenticios.

Con base en el conocimiento del deterioro sufrido por otros medios calcáreos en el mundo, y con el estudio realizado en la zona del Petén, al fin es posible prever las consecuencias de la corta o, por lo menos de una sub-explotación de las selvas en este ecosistema, las que podrán ser en lo fundamental:

- Desaparición por erosión de los suelos de vertientes, que serían reemplazados por una acumulación de rocas desnudadas (como en algunas regiones del Yucatán en México).

- Aumento de las fases de sumersión de los valles y por lo tanto, cambio de su pedogénesis con desaparición del proceso de vertisolización en beneficio de procesos de hidromorfia cada vez más permanentes, con acumulación de materia orgánica poco transformada y, en otros lugares, entarquinamiento ocasionado por el incremento de los escurrimientos.
- En una escala más pequeña de espacio (de la escala del paisaje a la de región) y de tiempo (algunos siglos) -suponiendo que se mantiene la condición de climas límites- hay que prever para la restauración rápida de la cobertura estrictamente original- una reactivación del sistema cárstico con disminución de los recursos hídricos superficiales.

ANEXO FIGURAS

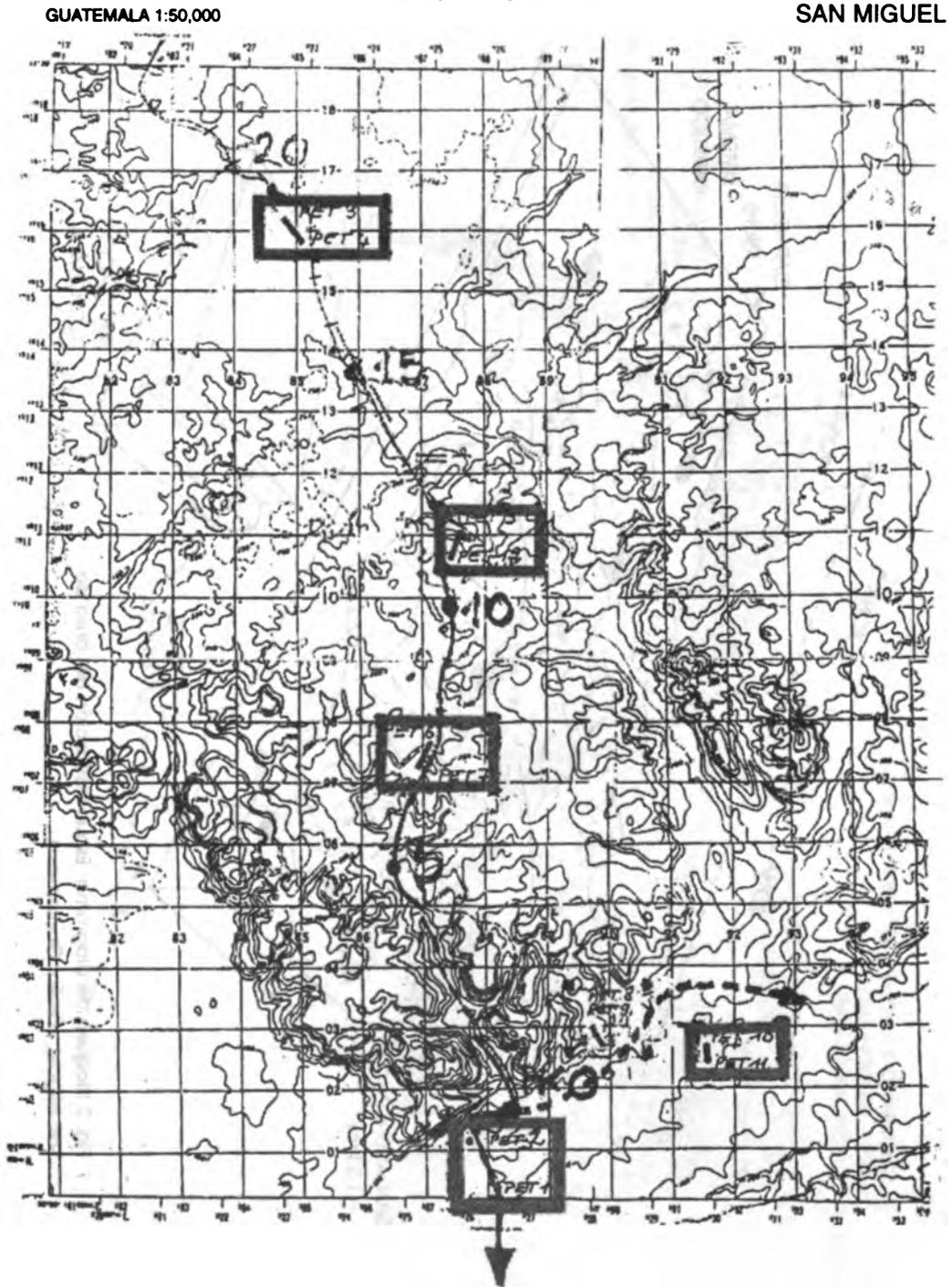


Fig. 1 Mapa de localización de los sitios representativos

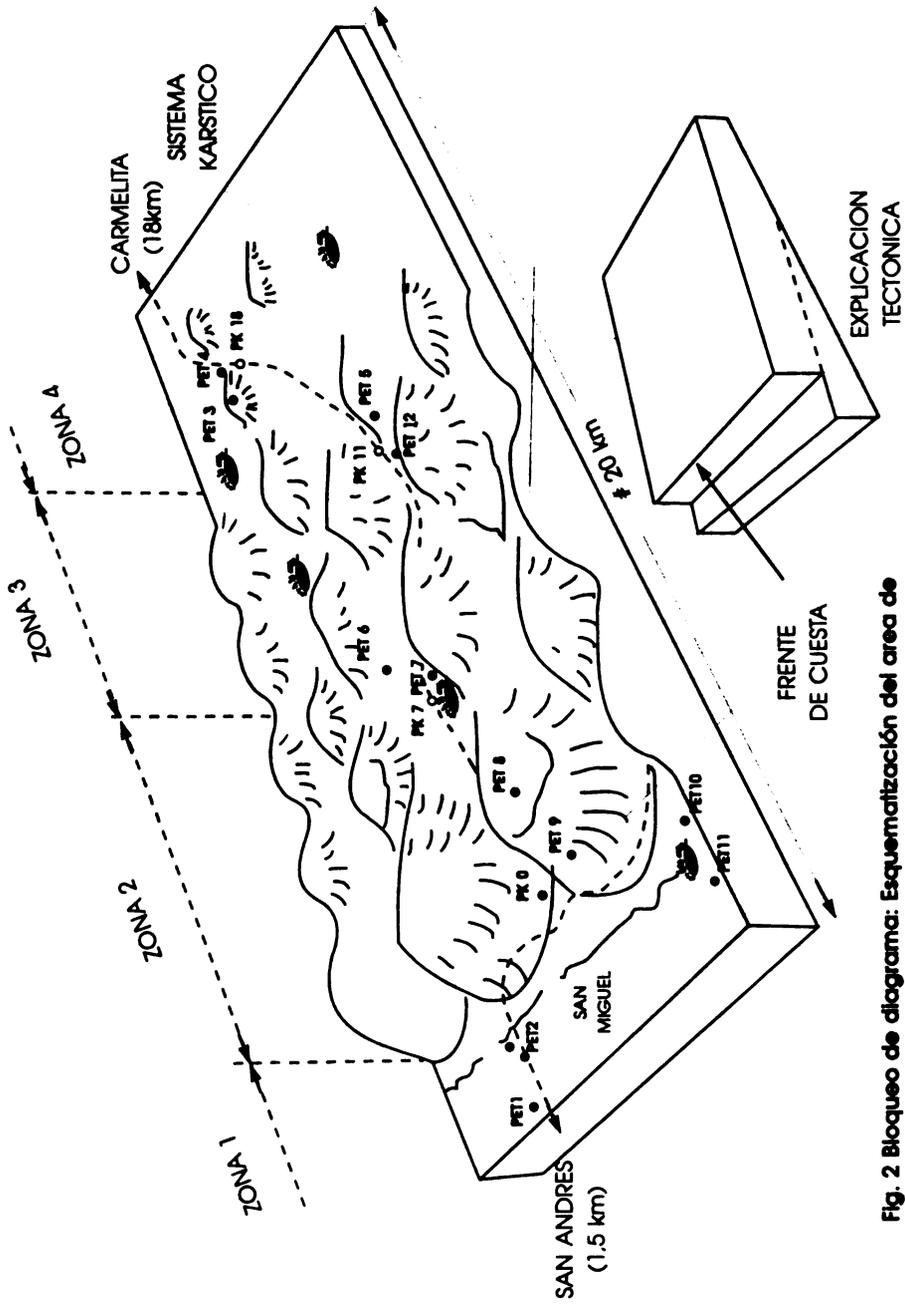


Fig. 2 Bloqueo de diagrama: Esquematzación del area de San Miguel, (Petén, Guatemala)

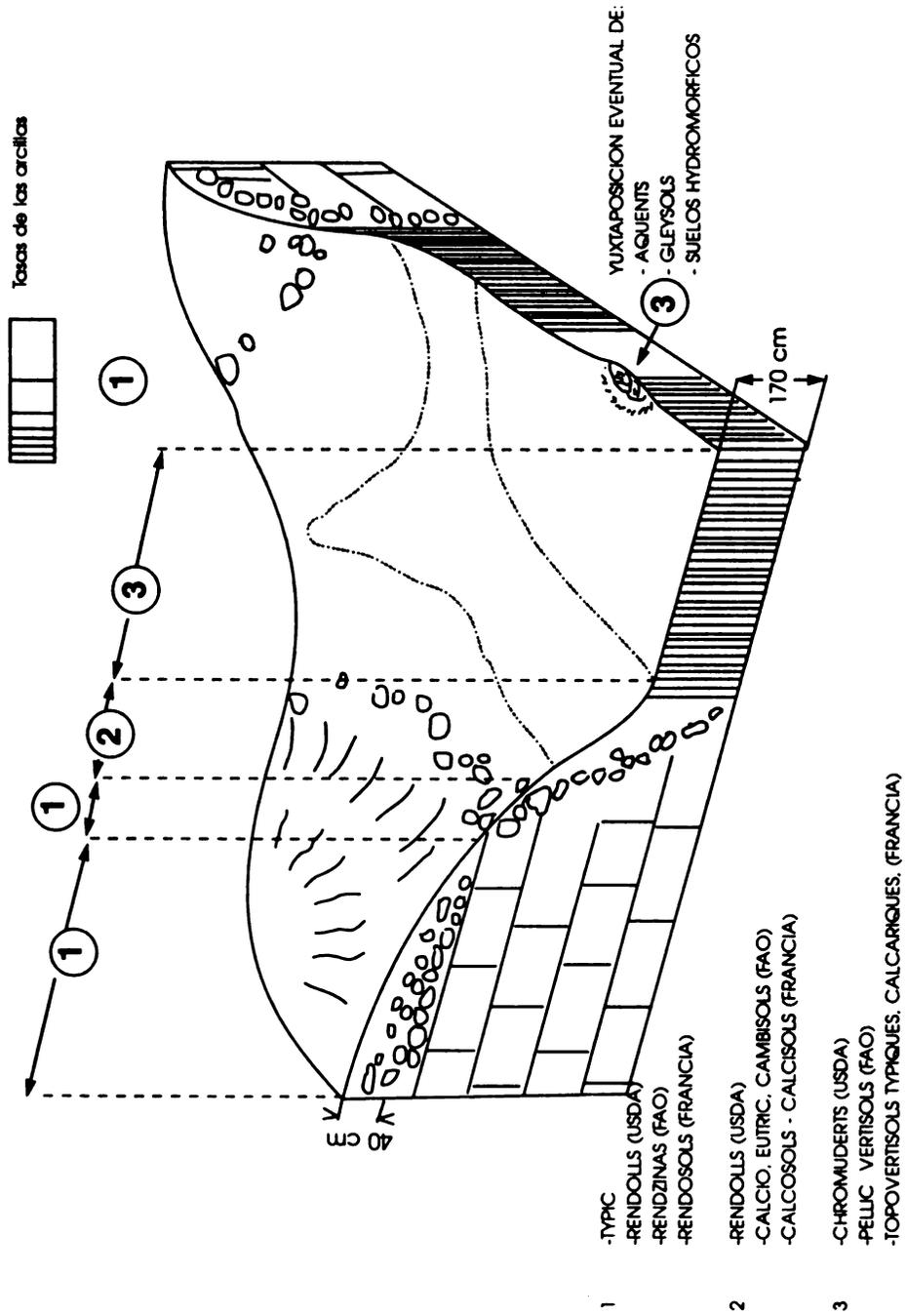


Fig. 3 Toposecuencia morfopedológica típica del "Biotopo"

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

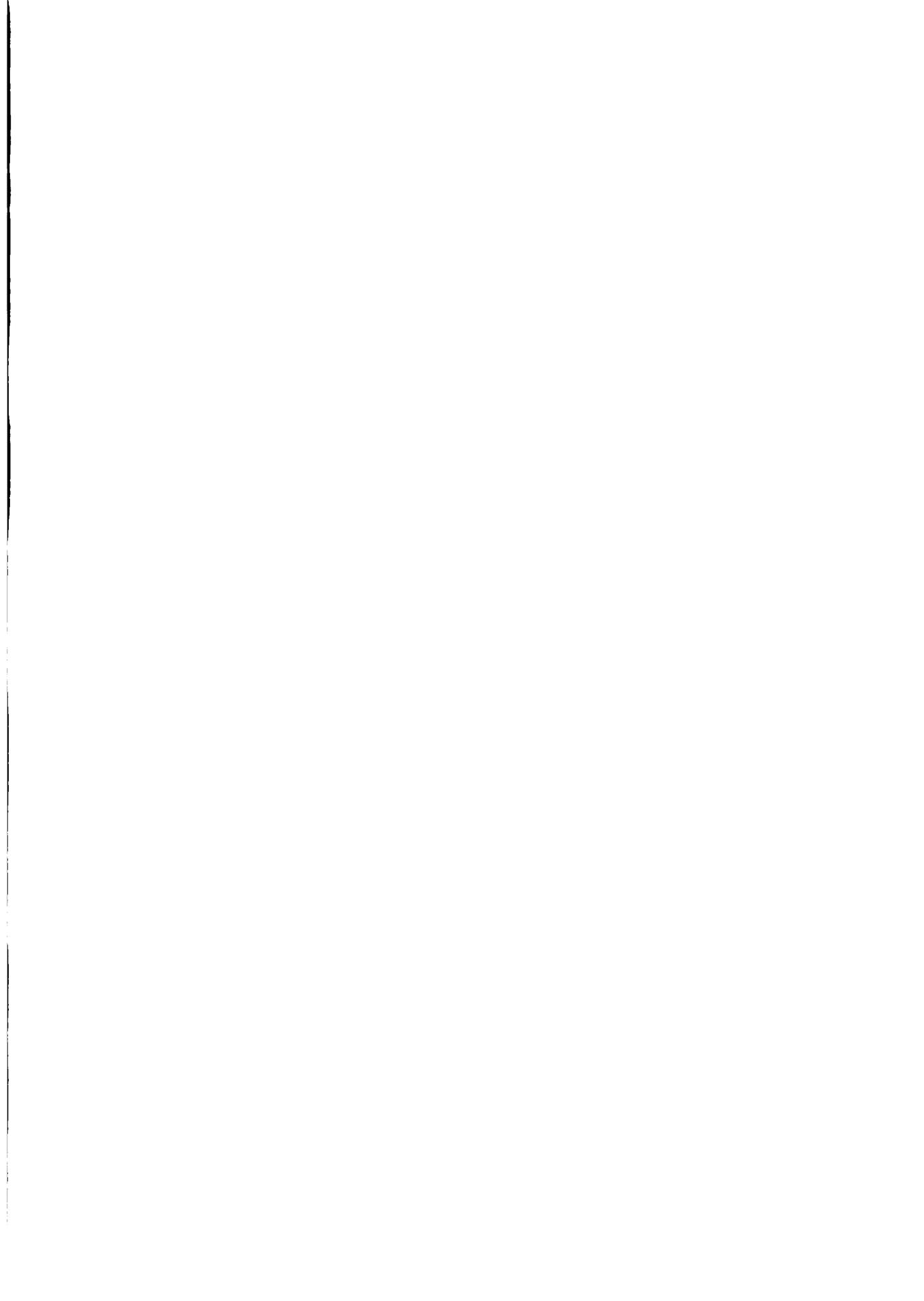
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology: Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 pp
- POUGET, M. 1965. Mesures d'humidité sur les échantillons de sols gypseux (Medidas de la humedad de muestras de suelos que contienen yeso). Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol.III. Fasc.2, pp 139-148
- ROSSIGNOL, J.P. 1983. Les Vertisols du Nord de l'Uruguay. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol.XX. Fasc.4, pp 271-292
- SIMMONS, C.; TARANO J.M; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional, Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura. Ministerio de Agricultura. Editorial del Ministerio de Educación Pública "José de Pineda Ibarra". Guatemala. 996 pp.
- VIELLEFON, J. 1979. Contribution a l'amélioration de l'Etude analytique des sols gypseux (Contribución al mejoramiento de los estudios analíticos de los suelos yesosos. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol.XVII. Fasc.3, pp 195-224.

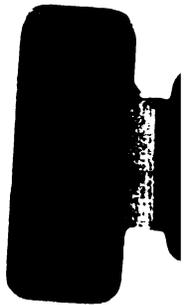
Edición: Sandra Ramírez

Diseño Gráfico: Silvia Francis S.

Impreso Unidad de Producción de Medios

CATIE





La ***Colección Diversidad biológica y desarrollo sustentable*** difunde los resultados del trabajo del CATIE en el campo de manejo de la diversidad biológica en América Central.

Esta colección está organizada en cuatro series, tres de ellas definidas según los niveles de jerarquía de sistemas y una cuarta sobre aspectos metodológicos.

- La *Serie Especies nativas* difunde los resultados de los estudios biológicos, productivos, sociales y económicos de distintas especies tropicales centroamericanas.

- La *Serie Ecosistemas y sistemas de producción* presenta los trabajos ecológicos, productivos, sociales y económicos que se realizan a nivel de ecosistemas (bosques, manglares y otros) y de sistemas de producción.

- La *Serie Regiones y paisajes* expone los estudios sobre ordenamiento territorial y evaluación económica de paisajes.

- La *Serie Metodologías* reúne experiencias en desarrollo y aplicación de metodologías de estudios ecológicos, productivos, sociales y económicos en todos los niveles jerárquicos mencionados.



Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central (OLAFO)